

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора
Костенко Тетяни Вікторівни
на дисертаційну роботу Радчука Дмитра Ігоровича
на тему «Наукове обґрунтування та вдосконалення конструкцій засобів
індивідуального захисту органів дихання з капюшоном», що подана на здобуття
наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю
05.26.01 – охорона праці

Актуальність теми дисертаційної роботи.

Актуальність дисертаційної роботи зумовлена сучасними викликами у сфері цивільного захисту, охорони праці, промислової безпеки та реагування на надзвичайні ситуації техногенного, природного й воєнного характеру. В умовах зростання ризиків виникнення аварій із викидом небезпечних хімічних речовин, продуктів горіння, токсичного диму, а також у разі застосування сучасних засобів ураження забезпечення надійного та оперативного захисту органів дихання населення, персоналу аварійно-рятувальних і спеціалізованих служб набуває особливої значущості.

Засоби індивідуального захисту органів дихання з капюшоном посідають важливе місце серед захисного спорядження завдяки можливості швидкого надягання, універсальності застосування та забезпеченню одночасного захисту не лише органів дихання, а й шкіри голови, обличчя та ший. Такі засоби є особливо актуальними в умовах обмеженого часу на евакуацію, для осіб без спеціальної підготовки, а також для захисту вразливих категорій населення. Водночас аналіз існуючих конструкцій свідчить, що окремі наявні зразки не повною мірою відповідають сучасним вимогам щодо ергономічності, герметичності, дихального комфорту, сумісності з іншими елементами спорядження та адаптивності до різних сценаріїв застосування.

Недостатній рівень наукового обґрунтування окремих конструктивних рішень, а також відсутність комплексного підходу до оцінювання захисних, фізіолого-гігієнічних і експлуатаційних характеристик засобів індивідуального захисту органів дихання з капюшоном можуть знижувати ефективність їх використання в реальних умовах надзвичайних ситуацій. Це, своєю чергою, створює додаткові ризики для життя і здоров'я користувачів. Особливої уваги потребують питання оптимізації аеродинамічних параметрів, зниження опору диханню, покращення оглядовості, підвищення герметичності прилягання та забезпечення надійності фільтрувальних елементів різного призначення.

У зв'язку з цим наукове обґрунтування та вдосконалення конструкцій засобів індивідуального захисту органів дихання з капюшоном є актуальним науково-технічним завданням, що має важливе теоретичне і практичне значення. Розроблення науково обґрунтованих підходів до проектування таких засобів, удосконалення їх конструктивних елементів і підвищення експлуатаційних характеристик сприятимуть покращенню рівня безпеки користувачів, розширенню

сфер застосування ЗІЗОД та наближенню вітчизняних зразків до сучасних міжнародних вимог і стандартів.

Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами та темами.

Дисертаційна робота була виконана відповідно до пріоритетних напрямів наукових досліджень, пов'язаних із Концепцією реформування системи управління охороною праці в Україні, схваленою розпорядженням Кабінету Міністрів України від 12 грудня 2018 р. № 989-р, а також в рамках виконання науково-дослідних робіт НТУ «Дніпровська політехніка» та Фізико-хімічного інституту захисту навколишнього середовища і людини за темами: «Ресурсозберігаюча геотехнологічна і гідродинамічна параметризація видобутку малопотужних запасів мінеральної сировини у техногенно навантаженому середовищі» (№ ДР 0117U006753, 2017 р.); «Розробка універсальних засобів індивідуального захисту пролонгованої дії подвійного призначення» (№ ДР 0117U000376, 2017-2018 рр.), «Розробка процесу керування ризиками шляхом удосконалення засобів індивідуального захисту та систем моніторингу безпеки техногенних об'єктів» (№ ДР 0125U002025 з 2025 року), у яких автор брав участь як виконавець.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність та наукова новизна.

Наукові положення, які виносяться на захист здобувачем, повною мірою відображають отримані наукові результати та є достатньо обґрунтованими.

Наукові положення, що виносяться на захист, сформульовані автором так:

1. Для моторових фільтрувальних респіраторів з капюшоном збільшення швидкості повітряного потоку з 60 до 200 $\text{дм}^3/\text{хв}$. зумовлює скорочення коливань внутрішнього тиску ($P_{\text{max}}/P_{\text{min}}$) залежно від типорозміру лицевої частини, а саме: від 1,22 до 1,16 для типорозміру М і від 1,11 до 1,108 для типорозміру L, водночас підвищуючи амплітуду коливань швидкості ($V_{\text{max}}/V_{\text{min}}$) в 1,2 рази. При цьому час очищення скорочується у 3,3 рази незалежно від типу капюшону, що дозволяє прогнозувати інтенсивність навантаження та енерговитрати користувача.

2. Ефективний час об'ємного оновлення повітря у капюшоні моторового фільтрувального респіратора описується теоретично обґрунтованою зворотно пропорційною залежністю від витрати повітря з урахуванням експериментально отриманого коригувального коефіцієнту, що дозволяє врахувати не лише геометричні параметри лицевої частини, а й динаміку масообміну, що зумовлена вентиляцією легень, при чому, що за об'ємної витрати повітря до 30 $\text{дм}^3/\text{хв}$ коригувальний коефіцієнт перевищує 1, тоді як при збільшенні об'ємної витрати до діапазону 30–60 $\text{дм}^3/\text{хв}$ його значення стає меншим за 1.

3. Експериментально доведено, що аеродинамічний опір на протиаерозольному фільтрі є функцією не тільки геометричних параметрів самого фільтра і властивостей фільтрувального середовища, а й експериментально визначеного коефіцієнту конфігурації складчастого фільтра, який знаходиться в межах від 0,2 до 0,7, та визначає характер потоку і, тим самим, дозволяє

прогнозувати ергономічні характеристики складчастого фільтра ще на етапі проектування.

Результати, що покладені в основу трьох наукових положень, належним чином відображені в публікаціях автора в періодичних виданнях і обговорені на наукових конференціях.

Основні наукові результати, що отримано в роботі, полягають в наступному:

1. Розроблено нову концепцію конструкції моторового фільтрувального респіратора з автоматичним регулюванням повітряного потоку, сенсорною системою моніторингу та інтеграцією капюшона з каскою, що забезпечує високий рівень захисту й надійності.

2. Розроблено нову математичну модель функціонування моторового фільтрувального респіратора, яка описує зміну тиску та витрати повітря в системі «фільтр – вентилятор – повітропровід – капюшон» для оцінювання стабільності й ефективності функціонування моторового респіратора за різних режимів вентиляції на основі передавальної функції системи.

3. Виявлено нелінійну залежність між енерговитратами користувача, концентрацією шкідливих речовин та ефективністю роботи фільтрів, що визначає зниження часу захисної дії при підвищених фізичних навантаженнях.

4. Уточнено аналітичні залежності між енерговитратами користувача та часом захисної дії, які можуть бути використані при розробленні нормативів експлуатації респіраторів у різних виробничих умовах.

5. Визначено закономірність зміни коефіцієнта конфігурації фільтрувальних матеріалів від щільності упакування волокон та відношення відстані між гофрами до їх висоти, що дозволяє обґрунтувати зростання початкового перепаду тиску складчастого фільтра по відношенню до плаского, що дозволяє встановити раціональні геометричні параметри фільтрувальних коробок.

6. Уточнено модель розподілу повітряного потоку на поверхні складчастого фільтра, яка поєднує не тільки геометричні форми фільтрів з кількістю повітря, що надходить, а й розташування вхідних і вихідних отворів фільтрувальних коробок, що дозволяє забезпечити максимальне використання площі фільтрувального матеріалу.

Практичне значення роботи.

За результатами проведених досліджень створено підґрунтя для розробки нових фільтрувальних засобів індивідуального захисту органів дихання, зокрема алгоритму розрахунку коефіцієнта конфігурації, що може бути використаний при проектуванні нових фільтрів різних типів для забезпечення оптимальних параметрів повітропроникності; розроблено програмний комплекс для прогнозування часу захисної дії фільтрів, який враховує розподіл повітряного потоку, режим дихання та енерговитрати користувача, забезпечуючи похибку не більше 10 % від реальних даних; створено системи контролю перепаду тиску та залишкового ресурсу фільтра, що забезпечує оперативне визначення моменту заміни фільтрувальних елементів і підвищує безпеку користувача; розроблено методiku оцінювання розбірливості мовлення у респіраторах, що може бути

використана під час сертифікаційних випробувань нових моделей засобів індивідуального захисту.

Розроблено моторовий фільтрувальний респіратор, який відрізняється від відомих конструкцією капюшона з ударозахисною каскою, та моторовим блоком із сучасних матеріалів (ABS+), безколекторним електродвигуном і сенсорною системою на базі мікроконтролера Arduino, а також визначено раціональний діаметр повітропроводу (32 мм), що забезпечує раціональну подачу повітря відповідно до режиму дихання та енерговитрат користувача.

Експериментально підтверджено, що ефективний час захисної дії протигазових фільтрів залежить не тільки від концентрації та типу (природи) шкідливої речовини, кліматичних параметрів навколишнього середовища, аеродинаміки фільтрувальної коробки, типу та об'єму сорбенту та фізичного навантаження користувача, які є визначальними у діапазоні концентрації шкідливої речовини більше 300 ppm, тоді як у діапазоні до 300 ppm визначальною є саме концентрація шкідливої речовини, що дає змогу прогнозувати ефективний час роботи фільтрів з урахуванням характеристик режиму дихання та повітрообміну в підмасковому просторі, які істотно впливають на реальні умови експлуатації ЗІЗОД.

Результати роботи впроваджено на виробництві засобів індивідуального захисту органів дихання у ТОВ НВП «СТАНДАРТ», а також автором отримано позитивну оцінку від ДВГРЗ ДСНС України (м. Кривий Ріг) за результатами розгляду матеріалів та аналізу технічної документації щодо розробленої конструкції моторового фільтрувального респіатора з капюшоном, яка продемонструвала потенціал для практичного застосування у виробничих умовах.

Оцінка змісту роботи та повнота висвітлення основних положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях.

Дисертація має класичну структуру, характеризується чітким викладом матеріалу, належним рівнем ілюстрування таблицями та рисунками. Автором ґрунтовно проаналізовано сучасний стан досліджуваної проблеми, виявлено прогалини в існуючих підходах і запропоновано конкретні науково-технічні рішення, зокрема нову конструкцію моторового фільтрувального респіатора з капюшоном, математичну модель системи, програмний комплекс для прогнозування часу захисної дії, методику оцінювання розбірливості мовлення та систему контролю ресурсу фільтра.

У вступі автор не лише обґрунтовує актуальність теми, а й формулює мету дослідження, конкретизує її у відповідних завданнях, визначає об'єкт і предмет дослідження. Окремо розкрито методологічну основу роботи, висвітлено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Також наведено відомості про апробацію результатів дослідження та загальну логіку побудови дисертації.

Перший розділ дисертації присвячено аналізу сучасного стану розвитку та практики застосування фільтрувальних засобів індивідуального захисту органів дихання. Узагальнено еволюцію конструкцій респіраторів, принципи формування

аеродинамічних каналів, підходи до вибору фільтрувальних матеріалів і методи моделювання руху повітря у фільтрувальних елементах. Проведено порівняльний аналіз традиційних і сучасних підходів до проектування та систематизовано вимоги чинних стандартів щодо ефективності ЗІЗОД, зокрема проникнення частинок, опору диханню, герметичності та ергономічних показників. Окрему увагу приділено функціонуванню півмасок, масок і капюшонів, зокрема впливу геометрії та властивостей ущільнень на захисні характеристики. Проаналізовано конструкції моторових фільтрувальних респіраторів провідних виробників, зокрема 3M Versaflo TR-600, Honeywell North Primair PA7000, Scott Safety Duraflow SRS, що дало змогу сформувавши комплекс технічних вимог до їх удосконалення. Систематизовано властивості основних типів фільтрувальних матеріалів: волокнистих, сорбційних, композитних і наноструктурних. Оцінено їх адсорбційні характеристики та стійкість, узагальнено методи визначення часу захисної дії й встановлено обмеження традиційних підходів. Показано, що зниження ефективності може бути зумовлене утворенням «мертвих зон», які погіршують використання фільтрувального матеріалу та збільшують опір диханню. Обґрунтовано доцільність удосконалення конструкцій фільтрувальних елементів з урахуванням аеродинаміки та геометрії для забезпечення рівномірного розподілу повітряного потоку.

У другому розділі наведено результати досліджень, спрямованих на вдосконалення лицевої частини респіратора. Проаналізовано вплив використання респіратора та захисного капюшона на когнітивні показники користувачів, зокрема швидкість реакції, увагу та точність дій. Встановлено, що короткочасне застосування не має істотного впливу на психофізіологічний стан користувача, тоді як тривале носіння без перерв призводить до зростання втоми внаслідок зміни мікроклімату в підкапюшонному просторі. Запропоновано конструкцію універсальної лицевої частини з гнучкого багатошарового матеріалу та удосконаленою системою кріплення. Обґрунтовано ефективність капюшонної схеми, яка забезпечує рівномірний розподіл навантаження, підвищує комфорт і зменшує ризик подразнень під час тривалої експлуатації. Виконано розрахунок параметрів повітропровідного шланга та проведено гідродинамічний аналіз для оптимізації повітропостачання. Дослідження умов мовної комунікації засвідчили збереження розбірливості мовлення в удосконаленій конструкції. Оцінювання працездатності підтвердило зниження теплового навантаження, покращення вентиляції та підвищення стійкості до втоми на 10–15 %. Загалом обґрунтовано, що капюшонна лицева частина забезпечує підвищення ергономічних і функціональних характеристик респіратора.

У третьому розділі представлено розроблення моторового фільтрувального респіратора капюшонного типу. Запропонована концепція передбачає інтегрований фільтрувально-вентиляторний модуль, блок керування з функціями

сенсорного моніторингу параметрів повітря та капюшон, поєднаний із захисною каскою. Таке конструктивне рішення забезпечує комплексний захист голови, ший та органів дихання, а також підвищує ергономічність виробу. Проведено FMEA-аналіз конструкції, ідентифіковано потенційні відмови та визначено заходи щодо їх мінімізації. Розроблено конструкторську документацію основних вузлів: капюшона, моторового блоку та повітропровідного шланга. Капюшон виконано з багатошарового матеріалу з прозорою панеллю та системою вентиляційних каналів; моторовий блок включає вентилятор, електродвигун, акумулятор підвищеної ємності та систему самодіагностики. Експериментальні випробування, проведені відповідно до нормативних вимог, підтвердили необхідні показники захисної ефективності, герметичності, ергономічності та низького рівня шуму, що свідчить про перспективність подальшої сертифікації виробу для застосування в умовах хімічних, біологічних і техногенних загроз. Окремо досліджено вплив дихальної активності користувача на процеси масообміну у внутрішньому об'ємі капюшона із застосуванням дихальної машини. Розроблено математичну модель моторового фільтрувального респіратора, що встановлює взаємозв'язок між параметрами вентилятора, опором фільтра, геометрією шланга та витратою повітря. Це забезпечує можливість визначення раціональних режимів роботи залежно від рівня фізичного навантаження.

У четвертому розділі наведено результати теоретичних і експериментальних досліджень комбінованих фільтрів для універсальних респіраторів. Проаналізовано вплив умов експлуатації на динаміку насичення адсорбентів і встановлено зниження часу захисної дії до 40 % за високих фізичних навантажень. Визначено раціональні геометричні параметри фільтрів та обґрунтовано переваги циліндричних конструкцій із модифікованим входом, що забезпечують більш рівномірний розподіл повітряного потоку. Сформульовано принципи поєднання механічного та адсорбційного очищення повітря і встановлено оптимальне співвідношення фільтрувальних шарів. Запропоновано індикатор вичерпання ресурсу фільтра на основі ароматичної речовини у хлоридно-натрієвій капсулі. Розроблено програмне забезпечення для прогнозування часу захисної дії фільтрів з урахуванням параметрів дихання, режимів експлуатації та геометрії, що забезпечує обґрунтоване планування їх застосування.

У п'ятому розділі наведено результати комплексного моделювання універсального фільтрувального респіратора. Досліджено вплив геометрії фільтрувальної коробки на гідродинамічні характеристики та встановлено, що обтічні контури й круглі отвори забезпечують мінімальний опір повітряному потоку. Моделювання в середовищі SolidWorks дало змогу ідентифікувати «мертві зони» у нераціональних конструкціях і обґрунтувати вибір оптимальної геометрії. Визначено залежності між параметрами конфігурації фільтрів, зокрема товщиною, площею, кутом нахилу складок, та їх ефективністю. Оптимізація конструкції

забезпечила підвищення фільтрувальної здатності без збільшення опору диханню. Розроблено систему контролю ресурсу фільтра, що поєднує сенсорний модуль і механічний індикатор накопичення шкідливих речовин. Узагальнення результатів засвідчило, що оптимізація геометрії фільтрувальної коробки, конфігурації фільтра та системи контролю ресурсу забезпечує підвищення ефективності очищення повітря, зниження опору диханню та покращення ергономічних характеристик універсального респіратора.

Основні результати дисертаційного дослідження опубліковано в 57 наукових працях, з них 3 навчальні посібники, 45 статей у наукових фахових виданнях, серед яких 7 публікацій у міжнародних та вітчизняних виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз, 8 публікацій у збірниках матеріалів міжнародних і всеукраїнських науково-практичних конференцій, 2 патенти на корисну модель, а також 7 публікацій в інших виданнях, не включених до переліку фахових. Основні положення за результатами дисертаційної роботи доповідалися на всеукраїнських і міжнародних конференціях.

Відсутність порушень академічної доброчесності.

За результатами ретельного аналізу тексту дисертаційної роботи, опублікованих наукових праць і матеріалів автора, а також уважного вивчення звіту перевірки на наявність текстових запозичень не встановлено порушень принципів академічної доброчесності. Використання ідей, наукових результатів, цитат чи текстів інших дослідників супроводжується коректними бібліографічними посиланнями на першоджерела. Бібліографічне оформлення виконано належним чином, що свідчить про дотримання здобувачем вимог академічної етики та належну культуру наукової роботи.

Зауваження до дисертації.

Зазначені зауваження не знижують наукового рівня та загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи.

1. Потребує додаткового уточнення опис моделі, за якою параметри аеродинаміки в системі «фільтр — вентилятор — повітропровід — капюшон», (коливання тиску, витрати та час очищення підкапюшонного простору) пов'язуються з оцінкою інтенсивності навантаження та енерговитрат користувача. Доцільно конкретизувати відповідні величини, одиниці вимірювання та інтерпретацію отриманих результатів, а також навести дані щодо валідації запропонованого підходу, його точності, меж застосовності й чутливості до опору фільтра та можливих витоків.

2. Для проектування капюшонної лицевої частини використано антропометричну базу, що є важливим елементом обґрунтування її конструктивних параметрів. Разом із тим доцільно детальніше обґрунтувати вибір двох типорозмірів (M, L), визначити межі їх застосування та показати, яким чином у запропонованих конструктивних рішеннях враховано крайові антропометричні групи й демографічні особливості користувачів, зокрема вік і статеві-вікові відмінності.

3. Схема руху повітря в капюшоні, що наведена на рис. 2.10, не відображає шляхи випуску відпрацьованого повітря з підкапюшонного простору.

4. Наведені в роботі експериментальні дані підтверджують відповідність розробленої конструкції ключовим показникам захисної ефективності. Водночас варто продемонструвати в роботі, як отримані результати за показниками класу захисту співвідносяться з певним рівнем, зокрема з межами, характерними для ТН2. Потребують конкретизації конструктивні резерви, які можуть забезпечити впевнене досягнення вищих класів захисту в ускладнених умовах експлуатації. З тексту роботи не зрозуміло чи оцінювалися в умовах експерименту параметри теплознімання під час експлуатації захисного засобу.

5. З огляду на практичну орієнтацію розробки, доцільним було б ширше висвітлити питання ресурсних випробувань, зокрема старіння матеріалів капюшона, деградації фільтрів і поведінки ущільнень під час тривалої експлуатації. Також бажано деталізувати оцінювання надійності електронних компонентів (сенсорів, контролера й акумулятора) у запиленних, вологих і температурно нестабільних середовищах, оскільки ці чинники істотно впливають на реальну безвідмовність моторового фільтрувального респіратору у виробничих та аварійних умовах.

6. У роботі встановлено систематичну різницю між розрахунковим і фактичним часом захисної дії засобу захисту, що може сягати 20 % та пояснюється неповним використанням об'єму адсорбенту. Доцільно було б більш детально описати, як зазначена різниця враховується у програмному прогнозі. Окремої конкретизації потребують конструктивні рішення, що спрямовані на зменшення «непрацюючого» об'єму адсорбенту.

Загальний висновок та оцінка дисертації.

Дисертаційна робота написана грамотною технічною мовою, логічно побудована та послідовно викладена. Отримані в процесі дослідження наукові результати є новими й оригінальними.

Недоліки та зауваження щодо дисертаційної роботи не мають принципового характеру й не впливають на її позитивну оцінку. Загалом робота є самостійним і завершеним науковим дослідженням, а її основні положення є науково обґрунтованими, достовірними та корисними в теоретичному й практичному аспектах.

Вважаю, що дисертаційна робота Радчука Дмитра Ігоровича «Наукове обґрунтування та вдосконалення конструкцій засобів індивідуального захисту органів дихання з капюшоном», подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.26.01 — охорона праці, відповідає вимогам Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 19 травня 2023 року № 502 (зі змінами), Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 року № 1197 «Деякі питання присудження (позбавлення) наукових ступенів», а також вимогам наказу Міністерства освіти і науки України від 23

вересня 2019 року № 1220 «Про опублікування результатів дисертацій на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук», зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 08 жовтня 2019 року за № 1086/34057.

Враховуючи успішне вирішення актуальної для охорони праці науково-практичної проблеми забезпечення працівників енергоефективними та ергономічними індивідуальними засобами захисту органів дихання для небезпечних виробничих умов, здатними адаптуватися до конкретного виробничого завдання, Радчук Дмитро Ігорович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.26.01 — охорона праці.

Офіційний опонент:
професор кафедри пожежної і
техногенної безпеки об'єктів
та технологій навчально-наукового
інституту пожежної та техногенної безпеки
Національного університету
цивільного захисту України
доктор технічних наук, професор



Тетяна КОСТЕНКО

Підпис Тетяни Костенко
засвідчую

Учений секретар
к.психол.н., с.п.с.



Андрій Побідаш

Відрук отриманий 04.06.2026

Вчений секретар

спецради 08.08.2019



Володимир Вовченко